電気電子工学実験 BⅡ　「変調の基礎実験」

担当：花泉・三浦　実験室：3 号館 3 階 325 号室（上履き持参）
レポート提出先：3 号館玄関の所定のレポート入れ

フロッピーディスク(Windows)を 1 枚，持参すること。（データ保存用）

[1] 光 PCM の基礎（第１週目）

1. 目的：PCM 及び光ファイバ通信の基礎を習得する。
2. 概要

音声などのアナログ信号を PCM（Pulse Code Modulation）信号に変換し，光伝送し，再びアナログ信号に変換する過程を実験する。実験機の中の素子の主な仕様を表 1 に示す。

表 1. 素子の主な仕様

素　　子	仕　　様	
サンプルホールド (LF398)	Acquisition time	4μs
AD 変換器 (ADC0804)	分解能	8bit
	相対精度	±1LSB*1)
	変換所要時間	100μs
EO 変換器	発光素子	LED
	波長	850nm±30nm
	ファイバ結合光出力	10μW (Typical)
	入力データ信号	TTL
OE 変換器	受光素子	pin PD
	出力データ信号	CMOS 出力
DA 変換器 (DAC0832)	電流 settling time	1μsec
	分解能	8bit
フィルタ	ローパスフィルタ	

*1)：Least Significant Bit （最下位ビット）

3. 実験装置構成

(1) 光 PCM 通信実験装置（ANDO，AQ-8307）
（付属品：マイク，光ファイバコード，電源コード）

(2) ディジタルオシロスコープ（Agilent，54622A）（付属品：プローブ 2 本）

（注意事項）

光ファイバコードはガラスでできているので当然折れやすい。丁寧に扱うこと。
また，LED 光を直接目に入れないようにすること（失明の恐れがあるため）。

4. 実験の準備

(1) 電源の接続

実験ボックス背面に AC 電源コネクタがある。AC100V 給電後，実験ボックスのスイッチを ON にする。

(2) 光ファイバコードの接続

光入力端子，光出力端子間に光ファイバコードを接続する。既に接続されていれば，そのままでよい。光ファイバは折れやすいので，くれぐれも慎重に取り扱うこと。

5. 実験

[1] AD 変換の実験

（概要）直流入力をサンプルホールドした後 AD 変換する。その後 EO 変換して光ファイバへ送信する。さらに光ファイバより受信した信号を OE 変換する。AD 変換，及びその分解能について理解する。

(1) 端子 B-G 間をオシロスコープの CH1 に接続する。

(2) SW1 を 1 側に切り替える。

(3) VR2 を回して，D0～D7 の点灯状態と AD 入力電圧の関係を調べる。AD 入力電圧はオシロスコープで測定する。オシロスコープの Autoscale キーを押せば自動的に波形が表示される。表 2 のようにデータをまとめよ。（慣れないうちはオシロスコープの使い方が分かりづらいかもしれないが，オシロスコープのマニュアルを読んで対処すること。）

表 2. LED 表示デジタル値と AD 入力電圧の関係

LED 表示（○：点灯，×：消灯）								LED 表示デジタル値 D0　LSB D7　MSB[*2)]	AD 入力電圧（端子 B-G 間）
D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0		
○	×	×	×	×	×	×	×	128	
○	×	×	×	○	×	○	×	138	
○	×	×	○	×	○	×	×	148	
○	×	×	○	○	○	○	×	158	
○	×	○	○	×	×	○	×	178	
○	○	○	×	×	○	×	×	228	
○	○	○	○	○	○	○	×	254	

[*2]：Most Significant Bit （最上位ビット），

(4) AD 変換入力電圧と LED 表示デジタル値（＝AD 出力デジタル値）のグラフを描け。ほぼ直線上にデータがプロットされるはずである。データを直線近似して，傾きより，1 デジタル値あたりの AD 分解能（最小分解能）を求めよ。

[2] 発振器による PCM 通信の実験

（概要）入力を，発振器を使って三角波とし，PCM 通信の基礎を学ぶ。

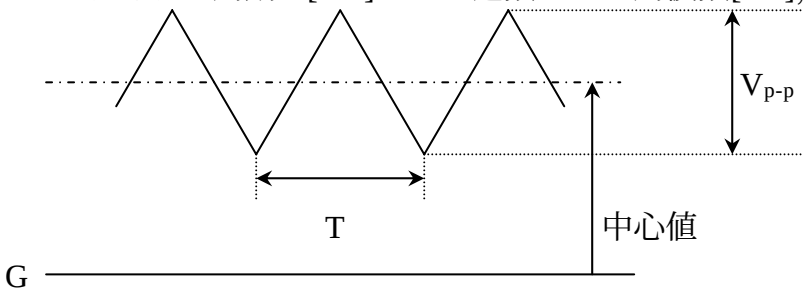
(1) SW1 を 2 側にする。これで三角波が入力される。

(2) VR2 は L 側いっぱいに回しておく。D7 のみ点灯していることを確認。

(3) VR3 は L 側いっぱいに回しておく。

(4) 端子 A-G 間にオシロスコープの CH1 を接続する。

(5) サンプルホールドへ入力される三角波を観測する。VR1 を回すことにより波形が変化する（$V_{p\text{-}p}$ と中心値は変化しない）。VR1 を L 側及び H 側いっぱいに回した時のそれぞれの周期 T[sec]とその逆数である周波数[Hz]，及び $V_{p\text{-}p}$ と中心値を求めよ。



(6) VR2 を H 側いっぱいに回す。VR3 を L 側いっぱいから時計回りに回していくと，発振音が聞こえてくる。VR1 を回すことにより発信音はどのように変化するかを記せ。（確認後，VR3 は L 側いっぱいに回しておく。）

(7) 端子 B-G 間にオシロスコープの CH1 を接続する。

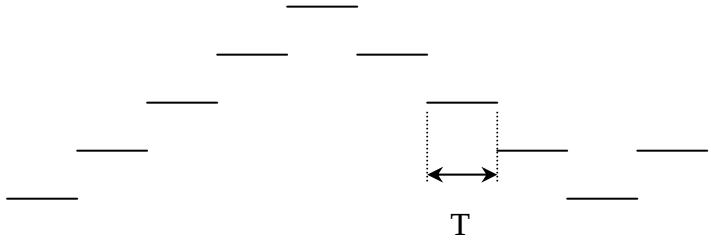
(8) 端子 C-G 間にオシロスコープの CH2 を接続する。

(9) VR1 は L 側いっぱいに回しておく。VR2 を回し，端子 B-G 間の $V_{p\text{-}p}$ を 800mV に調整する。オシロスコープにて，端子 B-G 間，端子 C-G 間の波形を観測せよ。レンジは，例えば，CH1：200mV/div，AC，CH2：2V/div，AC。オシロスコープ画面左下の「Coupling」ソフトキーにより，AC を選択する。

(10) VR1 は L 側いっぱいに回しておく。SW2 を押しながら，端子 C-G 間の波形を観測し，階段の数を調べよ。D0 と D1 が消灯していることも確認せよ。

(11) SW2 を押していない時の階段の数を予想せよ。条件はサンプル周波数 8kHz，分解能 20mV とする。

(12) VR1 を H 側いっぱいに回し，端子 C-G 間の（オシロスコープの CH2）の波形を観測せよ。サンプル時間 T 及びその逆数である周波数はいくらになるか。レンジは 0.1msec/div 程度がよい。画面が流れる時は，「Run Stop」を押すとよい。



(13) 端子 D-G 間にオシロスコープの CH1 を接続する。
(14) 端子 C-G 間にオシロスコープの CH2 を接続する。
(15) VR1，VR2 は H 側いっぱいに回しておく。フィルタ入力波形（CH2）と出力波形（CH1）を描け。$V_{p\text{-}p}$ を揃えて，同一グラフ上に描くこと。
(16) 端子 B-G 間にオシロスコープの CH2 を接続する。
(17) 端子 D-G 間にオシロスコープの CH1 を接続する。(13)のまま。
(18) PCM 送信前の波形（CH2）と受信後の波形(CH1)を描け。$V_{p\text{-}p}$ を揃えて，同一グラフ上に描くこと。PCM 送信前の波形の波形に比べて受信後の波形がどれだけ遅れているかを求めよ。また，遅れが生ずる原因について考察せよ。

[3] 音声信号による PCM 通信の基礎
（概要）入力を音声とし，PCM 通信の基礎を学ぶ。
(1) SW3 を 3 側にする。
(2) マイクを接続する。
(3) 端子 A-G 間にオシロスコープの CH1 を接続する。
(4) VR2 は H 側いっぱいに回しておく。マイクに音声を入れてスピーカーから声が出ることを確認する。スピーカーの出力は VR3 により調整する。
(5) 端子 C-G 間にオシロスコープの CH2 を接続し，A-G 間の波形(CH1)と比べよ。次に, 端子 D-G 間にオシロスコープの CH2 を接続し, A-G 間の波形(CH1)と比べよ。

6. 考察（(1)〜(3)については，2 週目の実験の時間までに調べておくこと。）
(1) PCM 通信における AD 変換，DA 変換，及びローパスフィルタの役割について説明せよ。また，PCM 通信における量子化誤差について説明せよ。
(2) OE 変換，及び EO 変換について説明せよ。
(3) pin PD について説明せよ。
(4) AD 出力デジタル値が, ある一定の時間 D7→D0 の順で○○○××○××である時, 光ファイバ中を伝送する光信号の概略図を予測してグラフに描け。横軸：時間（任意目盛り），縦軸：光強度（任意目盛り）。

7. 参考文献
(1) 例えば，高木相，通信工学，朝倉書店

補足資料

実験[1]
(3) Autoscale キーを押せば自動的に波形が表示されるが，見やすいように，電圧スケールと時間スケールを調節すること。

実験[2]
(5) Autoscale キーを押せば自動的に波形が表示される。波形が流れて見ずらい場合は，Run/Stop キーを押せば，波形を止めることができる（赤く光る）。もう一度押すと解除される（緑に光る）。あとは繰り返し。Single キーを押すと，1 回ずつ波形が取り込まれて停止するので，これを使っても良い。

(9) VR2 は H 側いっぱいに回し，CH1: 500mV/div，CH2: 2V/div，時間: 1msec/div とし，Coupling は DC のままで良い。波形がぶれるので，Run/Stop キーを押して，波形を止めてから記録すること。

(10) ここでも波形がぶれるので，SW2 を押しながら Run/Stop キーを押して，波形を止めてから記録すること。SW2 が押されると常に D0 と D1 が 0 になるため，CG 間の波形も変化する。この様子を記録せよ。

(11) SW2 を押していない時の階段の数を計算により求め，測定値と比較せよ。

(12), (18) 同じように，Run/Stop キーを押して，波形を止めてから記録すること。

実験[3]
(5) マイクに音声を入れながら Run/Stop キーを押して波形を止めてから記録すること。

[2] 振幅変調(AM)，周波数変調(FM)，位相変調(PM)の基礎（第２週目）

※ 電卓を持参すること。

1. 目的：AM，FM，PM の基礎を修得する。

2. 概要

まず，AM，FM，PM の原理を確認する。次に，これに基づいてファンクションシセサイザにより正弦波, 及びこれを変調した各波形を発生させ, オシロスコープで観測する。スペクトルも同時に観測する。

3. 実験機器構成

(1) ファンクションシセサイザ（NF 回路設計ブロック，WF1946）
（付属品：取扱説明書，電源コード，BNC コード）
(2) ディジタルオシロスコープ（ソニーテクトロニクス，TDS600A）
（付属品：ユーザ・マニュアル，電源コード）

4. 実験の準備

(1) 電源の接続

ファンクションシンセサイザとオシロスコープの電源コードを AC 100V に接続する。

(2) BNC コードの接続

ファンクションシンセサイザの CH1 FUNCTION OUT 端子と，オシロスコープの CH1 を BNC コードで接続する。

(3) ファンクションシンセサイザとオシロスコープのスイッチを入れる。

5. 実験

[1] 機器の操作に慣れる。

(1) ファンクションシンセサイザから正弦波を出力する。

$$f(t) = A\sin(2\pi f_c t)$$ ただし，A=0.5[V]，f_c=1[kHz]とせよ。

（取扱説明書　3-24～3-29 を参照，$V_{p\text{-}p}$=2A の関係がある）

(2) オシロスコープで波形を観測せよ。CH1 以外は波形を表示しないように設定する。

(3) CH1 の時間波形を上半分に，FFT 波形（スペクトル）を下半分に表示せよ。FFT 波形では，ピークが左右の中心に来るようにすると，後の実験が分かりやすい。
（オシロスコープのマニュアル　4-82～4-83 を参照）

(4) 時間波形と FFT 波形を記録せよ。FFT 波形において，ピークの周波数が f_c に等しいことを確認せよ。

[2] AM の実験

AM 波は次式で表される。

$$f_{AM}(t) = A[1 + k\cos(2\pi f_p t)]\cos(2\pi f_c t) \quad （k：変調度） \tag{1}$$

$$= A\left\{\cos(2\pi f_c t) + \frac{k}{2}\left[\cos(2\pi(f_c + f_p)t) + \cos(2\pi(f_c - f_p)t)\right]\right\} \tag{2}$$

(1) A=0.5[V], f_c=1[kHz]はそのままで，k=0.6, f_p=100[Hz]の AM 波形を出力し（シンセサイザのマニュアル　4-43～4-45 を参照），FFT 波形と共にオシロスコープで観測し, スケッチせよ。MODU メニューで, TYPE: AM, DEPTH: 60%, FREQ: 100Hz, FUNCTION: SIN とすればよい。また，オシロスコープの波形が流れる場合は，RUN/STOP ボタンを押すと良い。

(2) 式(2)のスペクトル強度分布を図示し, 測定によって得られた FFT 波形と比較せよ。（FFT 波形において，サイドローブが $f_c \pm f_p$ にあることを確認せよ。）

[3] FM の実験

FM 波は次式で表される。

$$f_{FM} = A\cos[2\pi f_c t + m_f \sin(2\pi f_p t)] \quad （m_f = \Delta f / f_p：変調指数） \tag{3}$$

$$= A\sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(m_f)\cos[2\pi(f_c + nf_p)t] \tag{4}$$

(1) A=0.5[V], f_c=1[kHz], f_p=100[Hz], Δf=450[Hz]の FM 波形を出力し（シンセサイザのマニュアル　4-40～4-42 を参照），FFT 波形と共にオシロスコープで観測し，記録せよ。MODU メニューで，TYPE: FM，DEVIATION: 900Hz(=2 Δf)，FREQ: 100Hz，FUNCTION: SIN とすればよい。また，オシロスコープの波形が流れる場合は，RUN/STOP ボタンを押すと良い。

(2) 式(4)のスペクトル強度分布を図示し, 測定によって得られた FFT 波形と比較せよ。（FFT 波形において，サイドローブが $f_c \pm nf_p$ (n=1, 2, 3, ・・・)にあることを確認せよ。）

[4] PM の実験

PM 波は位相を変調するものであるが，FM 波と同じ(3), (4)式で表現される。FM 波とあわせて，角度変調とも呼ばれる。

(1) A=0.5[V], f_c=1[kHz], f_p=100[Hz], m_f=π[rad]の PM 波形を出力し（シンセサイザのマニュアル　4-49～4-51 を参照），FFT 波形と共にオシロスコープで観測し，記録せよ。MODU メニューで, TYPE: PM, DEVIATION(≡$2m_f$): 360deg(=2π), FREQ: 100Hz，FUNCTION: SIN とすればよい。また，オシロスコープの波形が流れる場合は，RUN/STOP ボタンを押すと良い。

(2) 式(4)のスペクトル強度分布と，測定によって得られた FFT 波形と比較せよ。（FFT

波形において，サイドローブが $f_c \pm nf_p$ (n=1, 2, 3, ・・・)にあることを確認せよ。）

[5] リング変調器のシミュレーション実験

AM 波を発生させる回路の一つにリング変調器がある。

(1) リング変調器について文献で調べ，典型的な回路と変調された波形の概略図をそれぞれ描き，動作原理を説明せよ（実験の後で調査・考察する）。

(2) リング変調器から出力される波形をファンクションシンセサイザから出力する。

(a) 方形波（デューティー比 50%固定），$V_{p\text{-}p}$=1[V]，繰り返し周波数 f=1[kHz]を出力し，オシロスコープで確認する。

(b) (a)の波形について，k=0.6，f_p=100[Hz]の AM 波形を出力し，FFT 波形と共にオシロスコープで観測し，記録せよ（[2]の(1)を参照せよ）。

(c) (1)で調べた波形と実際に得られた波形（AM 波と FFT 波形）を比較せよ。

(d) [2]の(2)で得られた FFT 波形と比較せよ。

6. 参考文献

(1) 例えば，丸林元，通信伝送工学，コロナ社